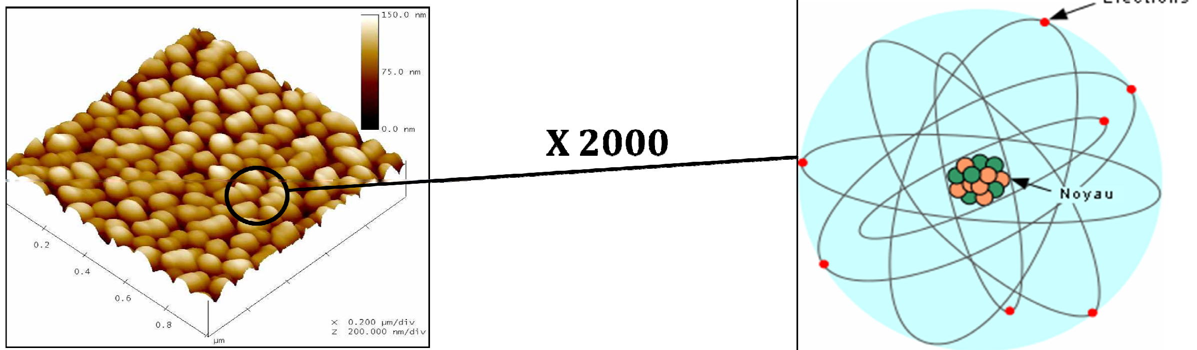
Chapitre1: Rappels.

1.1: Généralités et rappels.

A l'échelle microscopique, la matière est formée d'un ensemble d'atome ou de molécules reliées entre elles par des forces de VAN DER WALLS.

L'atome est constitué par un noyau et un nuage électronique.



1.1.1 Atome.

La partie centrale de l'atome est constituée de protons et de neutrons, et la partie périphérique constituée d'un nuage électronique.

	Charge (C)	**Masse (Kg)**
Électron	$(-e = -1{,}6\ 10^{-19})$	$9{,}11\ 10^{-31}$
Proton	$(+e = +1{,}6\ 10^{-19})$	$1{,}67\ 10^{-27}$
Neutron	0	$1{,}67\ 10^{-27}$

1.1.2 Charge Atomique.

La charge électrique d'un atome ${}_Z^A X_N$ peut être déduite de la somme algébrique de toutes ses charges élémentaires.

l'atome.

Avec: Z: le numéro atomique de l'atome, il représente le nombre de protons de l'atome.
N: le nombre de neutrons de l'atome.
A : le nombre total de nucléons de l'atome.

- La charge du noyau: $Q_{noyau} = Z(+e)$, elle est positive.
- La charge des électrons: $Q_{électrons} = N_{électrons}(-e)$; elle est négative.
- Charge de l'atome: $Q_{atome} = Q_{noyau} + Q_{électrons} = Z(+e) + N_{électrons}(-e)$

$$= (Z - N_{électrons})\,e$$

1.1.3 Conclusion.

La charge atomique peut être :

- Positive ($Q_{atome} > 0$, Si $Z > N_{électrons}$), déficit d'électrons.
- Négative ($Q_{atome} < 0$, Si $Z < N_{électrons}$), excès d'électrons.
- Nulle ($Q_{atome} = 0$, Si $Z = N_{électrons}$), charge neutre.

1.2 Différents modes d'électrisation.

Pour électriser un corps, on peut procéder de trois façons différentes.

1.2.1- Frottement. Le frottement de corps peut provoquer l'arrachement d'électrons, un des deux corps sera chargé positivement (déficit d'électrons), l'autre sera charge négativement, (excès d'électrons). Donc l'électrisation des deux corps.

1.2.2- Contact. Le contact d'un corps initialement chargé avec un autre corps neutre peut provoquer le déplacement d'électrons entre les deux corps.

1.2.3 Influence: Deux corps qui portent deux charges différentes, séparés par une distance faible provoque une nouvelle répartition de charge dans les deux corps.

La différence principale entre le contact et l'influence est que, dans le cas du contact le nombre total de charges de chaque corps change. Alors que dans le cas de l'influence le nombre de charges de chaque corps reste inchangé

Chapitre 2: Électrostatique

2.1. Définitions:

2.1.1 :L'électrocinétique permet d'étudier l'influence des charges électriques en mouvement, Alors que l'électrostatique permet de les étudier lorsque celles-ci sont immobiles.

2.1.2: Charge ponctuelle Une charge est dite ponctuelle si toutes les charges élémentaires sont concentrées en un seul point.

2.1.3: Charge ponctuelle isolée elle est dite isolée si la charge n'est pas influencée par le milieu extérieur.

2.2. Influence d'une charge électrique immobile sur le milieu extérieur.

Toute charge ponctuelle isolée produit en tout points du milieu extérieur un champ électrique et un potentiel électrique.

2.2.1. Champ électrique.

Le champ électrique généré par la charge Q_A en un point B de l'espace, est une grandeur vectorielle définit par :

$$\vec{E}_{A/B} = k\frac{Q_A}{\overline{AB}^2}\vec{u}$$

K : est la constante de coulomb définie par:

ε: est la permittivité du milieu extérieur. Elle est définie par: $\varepsilon = \varepsilon_0 \times \varepsilon_r$

$\varepsilon_0 = 8{,}85\ 10^{-12}$ (SI) est la permittivité du vide.

ε_r : permittivité relative

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \qquad k = 9.10^9 (SI)$$

2.2.2. Potentiel électrique.

Le potentiel électrique est une grandeur scalaire définit par :

$$V_{A/B} = k\frac{Q_A}{\overline{AB}}$$

2.2.3. Relation entre le potentiel électrique et le champ électrique.

Le champ électrique dérive du potentiel électrique.

$$\vec{E} = -\overrightarrow{grad}(V)$$

2.2.4.Remarques.

- Le module du champ électrique est toujours positif.
- Le sens du champ dépend de la nature de la charge.

- si la charge est positive le sens est sortant.
- Si la charge est négative le sens est rentrant.

2.3 Influence d'une charge électrique sur une autre charge électrique.

2.3.1 Définition: Une charge électrique est dite non isolée si elle est influencée par une autre charge électrique (le milieu extérieur).

2.3.2 Loi de COULOMB, force électrostatique. Une charge électrique ponctuelle (Q_B) placée dans le champ électrique d'une autre charge électrique (Q_A), sera soumise à l'action d'une force électrique dite de COULOMB. C'est une grandeur vectorielle définie par.

Q_A est la charge influente.

Q_B est la charge influencée.

AB la distance qui sépare les deux charges.

$$\vec{F}_{A/B} = k\frac{Q_A Q_B}{\overline{AB}^2}\vec{u}$$

2.3.3 Énergie potentielle. En plus de la force électrique appliquée a la charge influencée, celle-ci possède une énergie potentielle définie par:

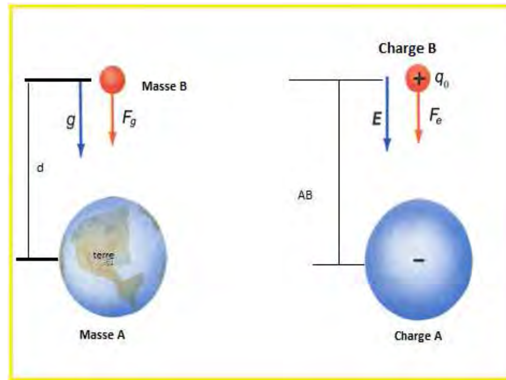
$$Ep_{A/B} = k\frac{Q_A Q_B}{\overline{AB}}$$

2.3.4 Remarques.

- Si les charges sont de même nature, elles se repoussent.
- Si elles sont de natures différentes elles s'attirent.
- L'énergie potentielle peut être positive ou négative.

2.3.5 Comparaison entre la théorie de newton et celle de coulomb.

Soit deux masse m_A et m_B , et deux charge Q_A et Q_B. Le tableau suivant permet de comparer entre les deux théories.



G=6.67.10^{-11}(SI)
k=9.10^{9}(SI)

	Masses	Charges
Forces	$\vec{F}g = \overrightarrow{F_{A/B}} = G\dfrac{M_A M_B}{d^2}\vec{u}$	$\vec{F}e = \overrightarrow{F_{A/B}} = k\dfrac{Q_A Q_B}{\overline{AB}^2}\vec{u}$
Champ	$\vec{g}_{A/B} = G\dfrac{M_A}{d^2}\vec{u}$	$\vec{E}_{A/B} = k\dfrac{Q_A}{\overline{AB}^2}\vec{u}$
Énergie potentielle	$Ep_{A/B} = G\dfrac{M_A M_B}{d}$	$Ep_{A/B} = k\dfrac{Q_A Q_B}{\overline{AB}}$
Potentiel.	$V_{A/B} = G\dfrac{M_A}{d}$	$V_{A/B} = k\dfrac{Q_A}{\overline{AB}}$

2.3.6 Remarques:

- Relation entre le champ électrique et la force électrique.

$\vec{E}_{A/B}$ Est le champ électrique externe influent.

$$\vec{F}_{A/B} = k\frac{Q_A Q_B}{\overline{AB}^2}\vec{u} = Q_B \times k\frac{Q_A}{\overline{AB}^2}\vec{u} = Q_B\vec{E}_{A/B}$$

- ❑ Le sens du champ est le même que celui de la force électrique si la charge influencée est positive.
- ❑ Sinon son sens est opposé de celui de la force électrique.

- Relation entre l'énergie potentielle et le potentiel électrique.

$$Ep_{A/B} = k\frac{Q_A Q_B}{\overline{AB}} = Q_B \times k\frac{Q_A}{\overline{AB}} = Q_B V_{A/B}$$

$V_{A/B}$: Est le potentiel électrique externe influent.

2.4. Généralisation.

Soient n charge électriques placées dans un espace donné.

2.4.1 Champ électrique résultant. Le champ électrique résultant en un point M de cet espace est la somme vectorielle de tous les champs électriques générés par chaque charge en ce point.

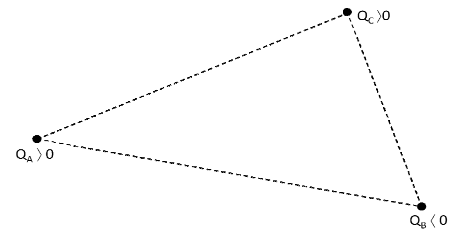
$$\vec{E}_M = \sum_{i=1}^{n}\vec{E}_{i/M}$$

2.4.2 Potentiel électrique résultant. Le potentiel électrique résultant en un point M de l'espace est la somme algébrique de tous les potentiels électriques générés par chaque charge en ce point.

$$V_M = \sum_{i=1}^{n} V_{i/M}$$

2.4.3 Exemple. Trois charges électriques, ($Q_A \rangle 0$, $Q_B \langle 0$, $Q_C \rangle 0$), sont placées comme indiquées sur la figure suivante:

1. Trouver le champ électrique résultant au point C généré par les charges Q_A et Q_B.
2. Trouver le champ électrique résultant au point B généré par les charges Q_A et Q_C.
3. Trouver la force électrique résultante appliquée sur Q_B.
4. Trouver l'énergie potentielle électrique de la charge Q_B



2.4.4. Réponse.

1. Le champ résultant au point C:

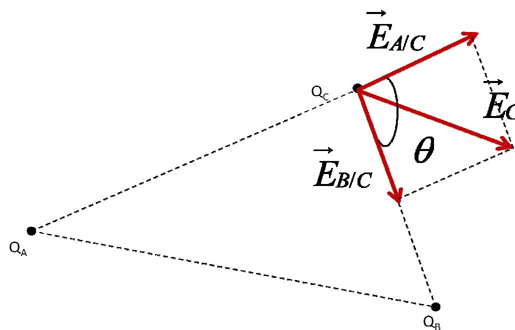
$$\vec{E}_C = \vec{E}_{A/C} + \vec{E}_{B/C}$$

$$\left|\vec{E}_{A/C}\right| = k\frac{Q_A}{(\overline{AC}^2)}\cdots\cdots$$ Le champ généré par la charge Q_A au point C, son sens est sortant car $Q_A \rangle 0$

$$\left|\vec{E}_{B/C}\right| = k\frac{Q_B}{(\overline{BC}^2)}\cdots\cdots$$ Le champ généré par la charge Q_B au point C, son sens est rentrant car $Q_B \langle 0$

L'angle θ, est l'angle formé entre les deux vecteurs champs

$$\left|\vec{E_C}\right| = \sqrt{\left|\vec{E_{A/C}}\right|^2 + \left|\vec{E_{B/C}}\right|^2 + 2\times\left|\vec{E_{A/C}}\right|\times\left|\vec{E_{B/C}}\right|\times COS(\theta)}$$

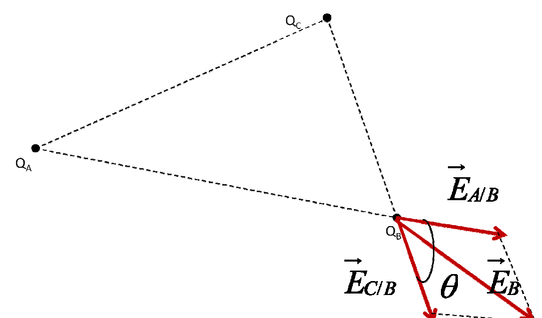


2. Le champ résultant au point B: $\vec{E}_B = \vec{E}_{A/B} + \vec{E}_{C/B}$

$$\left|\vec{E}_{A/B}\right| = k\frac{Q_A}{(\overline{AB}^2)}\cdots\cdots$$ Le champ généré par la charge Q_A au point B, son sens est sortant car $Q_A \rangle 0$

$$\left|\vec{E}_{C/B}\right| = k\frac{Q_C}{(\overline{CB}^2)}\cdots\cdots$$ Le champ généré par la charge Q_C au point B, son sens est sortant car $Q_C \rangle 0$

$$\left|\vec{E_B}\right| = \sqrt{\left|\vec{E_{A/B}}\right|^2 + \left|\vec{E_{C/B}}\right|^2 + 2\times\left|\vec{E_{A/B}}\right|\times\left|\vec{E_{C/B}}\right|\times COS(\theta)}$$



3. La force résultante au point B:

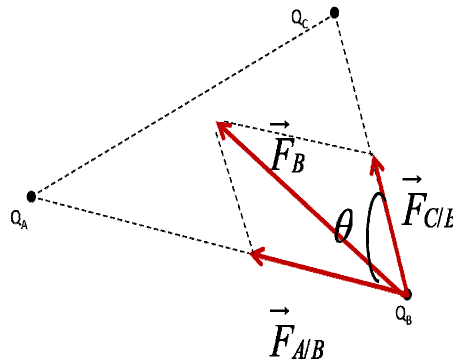
On peut procéder de deux manières différentes.

1[iere] méthode: $\vec{F}_B = \vec{F}_{A/B} + \vec{F}_{C/B}$

$$\left|\vec{F}_{A/B}\right| = k\frac{Q_A Q_B}{(\overline{AB}^2)} \cdots$$ La force appliquée par la charge QA sur la charge QB, (attractives car QA 〉 0 et QB〈0.)

$$\left|\vec{F}_{C/B}\right| = k\frac{Q_C Q_B}{(\overline{CB}^2)} \cdots$$ La force appliquée par la charge Q_C sur la charge Q_B, (attractives car Q_C 〉 0 et Q_B〈0.)

$$\left|\vec{F}_B\right| = \sqrt{\left|\overrightarrow{F_{A/B}}\right|^2 + \left|\overrightarrow{F_{C/B}}\right|^2 + 2\times\left|\overrightarrow{F_{A/B}}\right|\times\left|\overrightarrow{F_{C/B}}\right|\times COS(\theta)}$$



2[iere] méthode: $\vec{F}_B = Q_B \times \vec{E}_B$

On a la relation entre la force et le champ électrique.

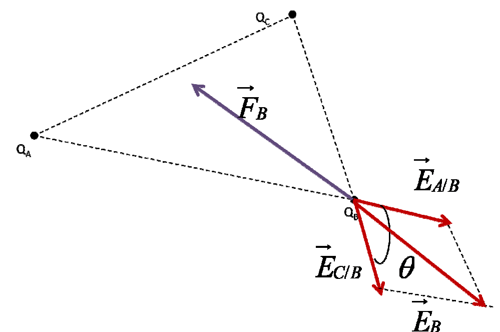
Avec **Q_B la charge influencée** et $\vec{E}_B$ étant le **champ électrique extérieur influent**. Il est généré par les deux charges Q_A et Q_C au point B

Le champ résultant au point B a été calculé dans la question précédente, il est dit champ électrique externe.

$$\vec{E}_B = \vec{E}_{A/B} + \vec{E}_{C/B}$$

Donc le module de la force résultante appliquée sur la charge Q_B sera donné par:

$$\left|\vec{F}_B\right| = Q_B \times \left|\vec{E}_B\right|$$



3. L'énergie potentielle de la charge Q_B:

On peut procéder aussi de deux manières différentes.

1[iere] méthode: l'énergie potentielle est la somme algébrique développée par toutes les charges influentes.

$$Ep_B = Ep_{A/B} + Ep_{C/B}$$

$$Ep_{A/B} = k\frac{Q_A Q_B}{(\overline{AB})} \cdots$$ L'énergie potentielle développée par la charge Q_A sur la charge Q_B.

$$Ep_{C/B} = k\frac{Q_C Q_B}{(\overline{CB})} \cdots$$ L'énergie potentielle développée par la charge Q_C sur la charge Q_B.

2^{iere} méthode: On utilise la relation entre l'énergie potentielle et le potentiel électrique. **QB étant toujours la charge influencée et VB le potentiel électrique extérieur influent**. Il est généré par les deux charges QA et QC au point B

$$Ep_B = Q_B \times V_B \qquad V_B = V_{A/B} + V_{C/B}$$

Avec

$$V_{A/B} = k\frac{Q_A}{(\overline{AB})}\cdot \qquad V_{C/B} = k\frac{Q_C}{(\overline{CB})}\cdot$$

2.5 Travail des forces électriques et énergie interne d'un système de charges.

2.5.1 Travail des forces électriques.

Les forces électriques sont des forces qui dérive du potentiel électrique, leurs travail est indépendant du chemin suivi. Il dépend de la variation de l'énergie potentielle entre le point de départ et le point d'arrivé.

Le système de charge externe génère au point de départ A et au point d'arrivé B, un potentiel électrique résultant et un champ électrique résultant.

$$\underset{A\to B}{W} = \Delta(Ec) = -\Delta(Ep) = -(Ep_{Arrivee} - Ep_{Depart})$$

$$\underset{A\to B}{W} = -(Ep_B - Ep_A) = -(Q\times V_{Systeme/B} - Q\times V_{Systeme/A})$$
$$\cdots\cdots = Q\times(V_{Systeme/A} - V_{Systeme/B})$$

2.5.1.1 Remarques.

- Si le travail des forces électriques est positif, il est dit moteur. C'est à dire que la charge influencée se déplace seule dans le milieu extérieur sans apport d'énergie externe.
- Sinon, il est dit résistant, un agent externe doit la faire déplacée.

2.5.2 Énergie interne d'un système de charge.

La stabilité d'un système de charge dépend de son énergie interne. Elle est définie par:

$$Ui = \frac{1}{2}\times\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} k\frac{Q_iQ_j}{\overline{ij}}$$

Elle représente la somme algébrique de toutes les énergies potentielles de toutes les charges prises deux à deux.

$$Ui = \sum_{i=1}^{n} Epi$$

2.6 Lignes de champs et surfaces équipotentielles.

2.6.1 Lignes de champs. La courbe qui relie les tangentes aux vecteurs champs en tout point de l'espace, définie la ligne de champ. Elle représente la trajectoire d'une charge influencée par le milieu extérieur.

2.6.1 Surfaces équipotentielles. L'ensemble du point de l'espace ayant la même valeur du potentiel électrique, définit les surfaces équipotentielles.

2.7 Propriétés des lignes de champs et des surfaces équipotentielles.

Il existe trois propriétés importantes reliant les lignes de champs aux surfaces équipotentielles.

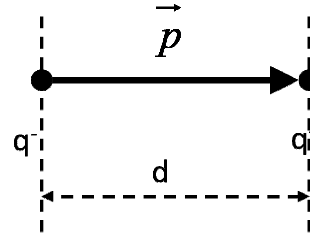
- Les lignes de champs sont toujours perpendiculaires aux surfaces équipotentielles.
- La ligne de champ est toujours orientée dans le sens des potentiels décroissant.
- Le vecteur champ électrique est toujours tangent à la ligne de champ.

Chapitre 3: Dipôle électrique.

3.1 Définition. L'ensemble de deux charges ponctuelles de mêmes valeurs, de nature différentes, et séparées par une distance très faible, définit un dipôle électrique. ($q^- = -q$ et $q^+ = +q$)

Il est noté appelé moment dipolaire, caractérisé par:

- L'origine du vecteur moment dipolaire est toujours la charge négative, à l'inverse de la chimie.
- Le sens du vecteur est orienté vers la charge positive.
- Le moment dipolaire est définit par : $\vec{p} = q \times \vec{d}$



3.2 Influence du dipôle électrique sur le milieu extérieur

3.2.1 Définition. Un dipôle électrique est dit isolé s'il n'est pas influencé par le milieu extérieur.

3.2.2 Potentiel électrique généré par un dipôle isolé. Comme dans le cas des charges ponctuelles, on détermine le potentiel électrique produit par les deux charges en un point **M** de l'espace.

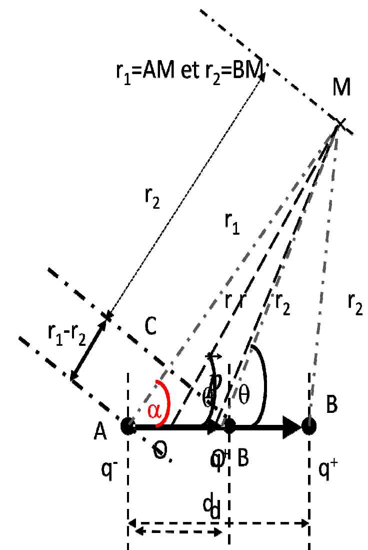
$$V_M = k\frac{q}{r_2} - k\frac{q}{r_1} = k \times q \times \left(\frac{r_1 - r_2}{r_1 \times r_2}\right)$$

Déterminons l'expression du potentiel électrique en fonction de la distance OM=r et de l'angle θ.

Lorsque la distance d décroît ( )

La distance r_1 se rapproche de la distance r et r_2 se rapproche aussi de la distance r.

Donc le produit $\mathbf{r_1 \times r_2 = r^2}$:



Maintenant dans le triangle ABC l'angle α se rapproche l'angle θ et l'angle Ĉ de 90°.

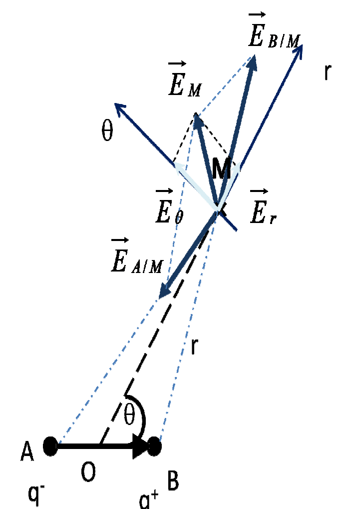
$$\cos(\alpha) = \frac{\overline{AC}}{\overline{AB}} = \frac{r_1 - r_2}{d} \Rightarrow (r_1 - r_2) = d \times \cos(\alpha)$$

$$(r_1 - r_2) = d \times \cos(\theta)$$

$$V_M = k \times \left|\vec{p}\right| \frac{\cos(\theta)}{r^2}$$

3.2.3 Champ électrique généré par un dipôle isolé.

Pour déterminer l'expression du champ électrique généré par le dipôle électrique en un point M de l'espace, on utilise la relation entre le potentiel électrique et le champ.



$$\vec{E} = -\overrightarrow{grad}(V)$$

$$\vec{E}_M = \vec{E}_{A/M} + \vec{E}_{B/M} = \vec{E}_r + \vec{E}_\theta$$

La composante radiale est définie par: $\vec{E}_r = -\frac{dV}{dr} = +2 \times k \times \left|\vec{p}\right| \times \frac{\cos(\theta)}{r^3} \vec{u}_r$

La composante tangentielle est définie par: $\vec{E}_\theta = -\frac{dV}{r \times d\theta} = k \times \left|\vec{p}\right| \times \frac{\sin(\theta)}{r^3} \vec{u}_\theta$

Connaissant les deux composantes, on peut déduire le champ électrique généré par le dipôle électrique en tout point de l'espace.

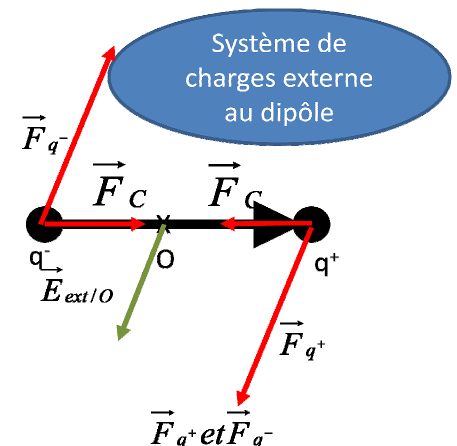
$$\vec{E}_M = \vec{E}_r + \vec{E}_\theta \Rightarrow \left|\vec{E}_M\right| = \sqrt{\left|\vec{E}_r\right|^2 + \left|\vec{E}_\theta\right|^2}$$

3.2.4. Exercice: déterminer les expressions du potentiel ainsi que les composantes du champ dans les cas particuliers ou θ=0˚, θ=90˚ et θ=180˚

3.3 Influence d'un champ électrique externe sur l'orientation du dipôle.

3.3.1 Définition: Un dipôle électrique est dit non isolé s'il est influencé par un champ électrique extérieur.

3.3.2 Forces électriques appliquées au dipôle non isolé.



En plus des deux forces d'attraction de coulomb, il existe deux autres forces qui sont dues au champ électrique extérieur.

$\vec{F}_{q^+}$ Est la force appliquée sur la charge q^+, elle est définie par $\vec{F}_{q^+} = q^+ \times \overrightarrow{E_{ext/O}}$ orientée dans le même sens que celui du champ externe car $q^+ \rangle 0$.

$\vec{F}_{q^-}$ Est la force appliquée sur la charge q^-, elle est définie par $\vec{F}_{q^-} = q^- \times \overrightarrow{E_{ext/O}}$ orientée dans le sens opposé que celui du champ externe car $q^- \langle 0$.

Les deux forces précédentes, $\vec{F}_{q^+} et \vec{F}_{q^-}$ changent l'orientation du dipôle électrique.

3.3.3 Moment du couple de forces appliquées au dipôle électrique.

Les deux forces précédentes génèrent un moment du couple qui fait changé l'orientation du dipôle électrique.

C'est une grandeur vectorielle définie par le produit vectoriel :

Remarques:

- le moment du couple est toujours orienté perpendiculairement au plan des deux forces externes.
- Si le dipôle tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, le moment du couple est dit rentrant.
- Sinon il est dit sortant.
- Le module du moment du couple est donné par:
- L'angle θ est l'angle formé entre l'orientation du dipôle et celle du champ extérieur.

3.3.4 Énergie d'un dipôle électrique non isolé. Elle est définie par le produit scalaire du moment dipolaire, par le champ électrique externe.

3.3.5 Orientations particulières.

Il existe deux orientations particulières du moment dipolaire par rapport au champ électrique externe.

- Si le moment dipolaire est orienté parallèlement au champ électrique externe et dans le même sens (θ = 0), il est dit en équilibre stable.
  - Le moment du couple des forces est nul.
  - L'énergie potentielle du dipôle électrique est minimale.
- Si le moment dipolaire est orienté parallèlement au champ électrique externe et dans le sens opposé de celui du moment dipolaire(θ = 180˚), il est dit en équilibre instable.
  - Le moment du couple des forces est nul.
  - L'énergie potentielle du dipôle électrique est maximale.



3.4 Travail des forces électrostatiques appliquées au dipôle

Le travail des forces électrostatiques appliquées à un dipôle électrique est calculé de la même manière que dans le cas des charges ponctuelles.

$$W_{\theta_{initial} \to \theta_{final}} = -\Delta(Ep) = -(Ep_{\theta_{final}} - Ep_{\theta_{initial}})$$

بسم الله الرحمن الرحيم وبه نستعين

Chapitre 4: Conducteur électrique et charges réparties.

4.1 Généralités : À l'inverse de la théorie des charges ponctuelles ou l'on suppose que toutes les charges élémentaires sont concentrées en un seul point (dans un seul atome), dans les conducteurs les charges se repartissent en tout points du corps. Dans ce cas on définit une densité de charge au lieu d'une charge ponctuelle.

4.2. Définitions.

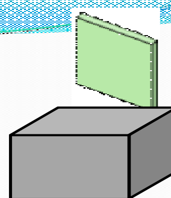
4.2.1 Conducteur et isolant: Si les charges électriques peuvent se déplacer à l'intérieur du corps, ce corps est dit **conducteur.** Si non il est dit **isolant.**

4.2.2 Densité de charge. Selon la forme géométrique du corps électrisé on distingue trois types de densités charges réparties.

- Si le conducteur est de forme linéaire (fil électrique), la charge se répartie sur toute la longueur du fil. , λ est appelée densité de charge linéaire.



- Si le conducteur est de forme aplatie, la charge se répartie sur toute la surface du corps. S est la surface du conducteur. σ est appelée densité de charge surfacique.
- Si le conducteur est de forme quelconque, la charge se répartie sur tout le volume du corps. , ρ est appelée densité de charge volumique.



Q: étant la charge totale, **L** la longueur du fil, **S** la surface, et **Vol** le volume du corps

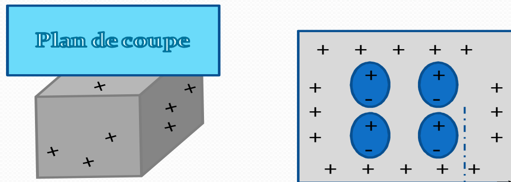
4.2.3 Conducteur en équilibre électrostatique. Un conducteur est dit en équilibre électrostatique si toutes les charges électriques sont immobiles.

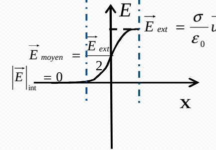
4.3. Propriétés des conducteurs en équilibres. Un conducteur en équilibre électrostatique possède trois propriétés:

- Les charges électriques sont toujours immobiles, elles sont réparties à la surface du conducteur.
- Le champ électrique à l'intérieur d'un conducteur en équilibre électrostatique est toujours nul.
- Le potentiel électrique en tous point de ce conducteur est constant.

4.3.1 Évolution du champ électrique à la surface d'un conducteur en équilibre.

Les charges électriques sont réparties à la surface du conducteur, c.-à-d. que les atomes de surface du conducteur seront ionisées et les atomes internes neutres.





$\vec{E}_{ext} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\vec{u}$; $\vec{E}_{moyen} = \frac{\vec{E}_{ext}}{2}$; $|\vec{E}|_{int} = 0$

4.3.2 Pression électrostatique. Elle est définie par:

$P = \frac{|\vec{F}|}{S} = \frac{Q \times |\vec{E}|}{S}$ On sait que $\sigma = \frac{Q}{S}$ et que : $|\vec{E}| = \frac{|\vec{E}_{ext}|}{2} = \frac{\sigma}{2 \times \varepsilon_0}$

Donc: $P = \frac{Q \times |\vec{E}|}{S} = \sigma \times \frac{\sigma}{2 \times \varepsilon_0} = \frac{\sigma^2}{2 \times \varepsilon_0}$

4.3. Équilibre entre deux conducteurs mis en contact.

Á l'instant t=0, les charges des deux conducteurs sont Q_1, Q_2 et les potentiels électriques V_1,V_2.

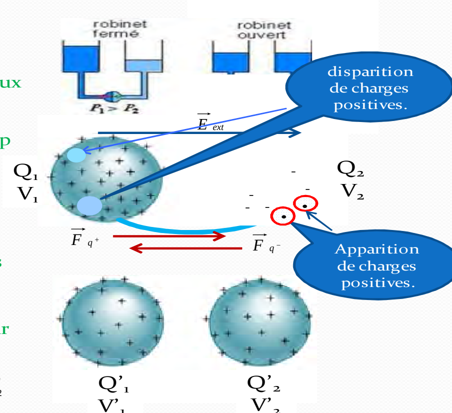
La différence de potentiel ($V_1 \rangle V_2$), entre les deux conducteurs, génère un champ électrique externe orienté vers les potentiels décroissants.

Les charges électriques influencées par le champ externe seront soumises à l'influence d'une force électrique induite par ce champ. $\vec{F}_{q^+}$ et $\vec{F}_{q^-}$

$\vec{F}_{q^+}$ Sera orientée dans le sens du champ.

$\vec{F}_{q^-}$ Sera orientée dans le sens opposé du champ.

Á l'équilibre, les charges des deux conducteurs seront Q'_1, Q'_2 et les potentiels électriques V'_1,V'_2.



L'équilibre des deux conducteurs sera régie par deux équations:

- La charge totale des deux conducteurs reste constante entre les deux instants. $Q_1 + Q_2 = Q_1^{'} + Q_2^{'}$
- Le potentiel électrique des deux conducteurs deviendra constant $V_1^{'} = V_2^{'}$

4.4.2.2 Cas d'une densité de charge linéaire. Soit une charge répartie en tout point d'un fil électrique, déterminons l'expression du champ électrique généré par cette densité de charge en un point M de l'espace.

$$\vec{E} \bullet \vec{S}_G = \frac{\sum charges}{\varepsilon}$$

$\vec{E}$: Est le champ électrique.

S_G: Est la surface de **GAUSS**, elle doit passée par le point M et envelopper toute la charge.

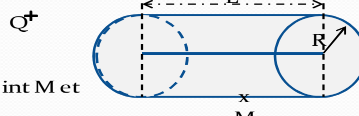
La surface de GAUSS est la surface latérale d'un cylindre de rayon R. $S_G = (2 \times \pi \times R) \times L$

$$|\vec{E}| \times (2 \times \pi \times R \times L) = \frac{Q_{totale}}{\varepsilon_0} \Rightarrow |\vec{E}| = \frac{1}{2 \times \pi \times R \times L}\frac{Q_A}{\varepsilon_0} = \frac{1}{2 \times \pi \times R \times L}\frac{\lambda \times L}{\varepsilon_0} \Rightarrow |\vec{E}| = \frac{1}{2 \times \pi \times R} \times \frac{\lambda}{\varepsilon_0}$$

4.4.3 Champ électrique généré par une densité de charge surfacique.

Soit un plan infini de surface (S), chargé uniformément. L'expression du champ électrique généré par cette densité de charge surfacique sera calculée par le théorème de GAUSS.

S_G est la surface totale des deux plans.



Q... envelo... plan?

Sachant que S_1=S_2=S; Donc $S_G = 2 \times S \Rightarrow |\vec{E}| \times S_G = \frac{Q_{tot}}{\varepsilon_0} \Rightarrow |\vec{E}| \times (2 \times S) = \frac{Q_{tot}}{\varepsilon_0} \Rightarrow |\vec{E}| = \frac{Q_{tot}}{2 \times S \times \varepsilon_0} \Rightarrow |\vec{E}| = \frac{\sigma}{2 \times \varepsilon_0}$

4.4.3.1 Remarques.

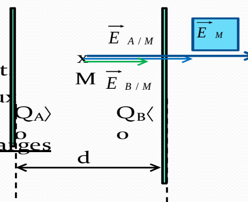
- L'expression du module du champ électrique généré par une densité de charge surfacique plane sera donnée donc par: $\left|\vec{E}\right| = \frac{\sigma}{2\times\varepsilon_0}$
- Si la densité de charge est positive, le sens du champ est sortant, sinon il est rentrant.
- Le module du champ électrique est uniforme, c.-à-d., indépendant de la distance x .

4.4.4 Potentiel électrique généré par une densité de charge surfacique.

L'expression du potentiel électrique généré par une densité de charge surfacique plane sera déduite de l'expression du champ électrique.

$$V = -\iint \vec{E}_{\sigma/M} \bullet \vec{dx}$$

$$V = -\int \left|\vec{E}\right| \times dx = -\int \frac{\sigma}{2\times\varepsilon_0} dx = -\frac{\sigma}{2\times\varepsilon_0} x_M$$



x_M, est la distance qui sépare le conducteur du point M.

4.4.4.1 Différence de potentiel électrique généré par une densité de charge surfacique.

La différence de potentiel électrique entre deux points influencés par une densité de charge surfacique plane sera déduite par:

$$V = -\int_N^M \frac{\sigma}{2\times\varepsilon_0} dx = \left[-\frac{\sigma}{2\times\varepsilon_0} x_M\right] - \left[-\frac{\sigma}{2\times\varepsilon_0} x_N\right]$$

$$\Rightarrow (V_M - V_N) = \frac{\sigma}{2\times\varepsilon_0}(x_N - x_M)$$

4.4.5.2 Conducteurs plans ayant des charges de natures différentes.

4.4.5.1.1 champ électrique produit entre les deux plaques.

$$\vec{E}_M = \vec{E}_{A/M} + \vec{E}_{B/M}$$

Avec: $\vec{E}_{A/M} = \frac{\sigma_A}{2\times\varepsilon_0}\vec{u}$, il est sortant, et : $\vec{E}_{B/M} = \frac{\sigma_B}{2\times\varepsilon_0}\vec{u}$, il est rentrant

Le champ résultant au point M et la somme vectorielle des deux champs précédents. $\left|\vec{E}\right|_M = \left|\vec{E}\right|_{A/M} + \left|\vec{E}\right|_{B/M} \Rightarrow \left|\vec{E}\right|_M = \frac{\sigma_A + \sigma_B}{2\times\varepsilon_0}$

4.4.5.1.2 Champ électrique produit par les deux densités de charges à l'extérieur des deux plaques.

$$\vec{E}_N = \vec{E}_{A/N} + \vec{E}_{B/N}$$

Avec: $\vec{E}_{A/N} = \frac{\sigma_A}{2\times\varepsilon_0}\vec{u}$, il est sortant. Et : $\vec{E}_{B/N} = \frac{\sigma_B}{2\times\varepsilon_0}\vec{u}$, il est rentrant.

$$donc \Rightarrow \left|\vec{E}\right|_N = \left|\vec{E}\right|_{A/N} + \left|\vec{E}\right|_{B/N} \Rightarrow \left|\vec{E}\right|_N = \frac{\sigma_A + \sigma_B}{2\times\varepsilon_0}$$

4.4.5.1.3 Différence de Potentiel électrique produit entre les deux plaques.

La différence de potentiel entre les deux conducteurs peut être déduite à partir du champ au point M par:

$$(V_A - V_B) = \int_A^B \left|\vec{E}\right|_M dx \Rightarrow V_{AB} = \frac{\sigma_A - \sigma_B}{2\times\varepsilon_0}(x) = \frac{\sigma_A - \sigma_B}{2\times\varepsilon_0}(d)$$

4.4.5.3 Cas particulier ou les charges sont égales mais de natures différentes.

Dans le cas particulier ou les conducteurs ont les mêmes surfaces, et portent des charges de natures différentes, on aura.

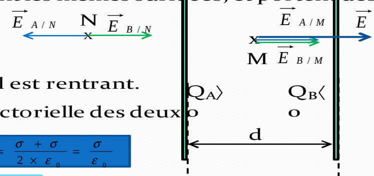
On a $S_A = S_B = S$, et $Q_A = -Q_B = Q$

a- champ résultant entre les conducteurs

$\vec{E}_{A/M} = \frac{\sigma_A}{2\times\varepsilon_0}\vec{u}$, il est sortant, et : $\vec{E}_{B/M} = \frac{\sigma_B}{2\times\varepsilon_0}\vec{u}$, il est rentrant.

Le champ résultant au point M et la somme vectorielle des deux champs précédents.

$$\left|\vec{E}\right|_M = \left|\vec{E}\right|_{A/M} + \left|\vec{E}\right|_{B/M} \Rightarrow \left|\vec{E}\right|_M = \frac{\sigma + \sigma}{2\times\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$



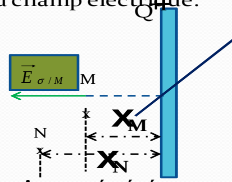
b- champ résultant à l'extérieur des conducteurs

$$\left|\vec{E}\right|_N = \left|\vec{E}\right|_{A/N} - \left|\vec{E}\right|_{B/N} \Rightarrow \left|\vec{E}\right|_N = \frac{\sigma - \sigma}{2\times\varepsilon_0} = 0$$

c- Différence de potentiel.

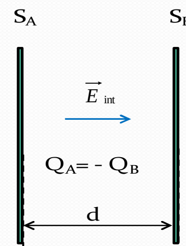
Le potentiel électrique peut être calculé en intégrant l'expression du champ électrique.

$$(V) = \int \vec{E} \bullet \vec{dx}$$



4.5 Condensateurs.

4.5.1 Définition: l'assemblage de deux conducteurs en équilibre électrostatique de même surface, portant des charges égales, de natures différentes, et sous influence totale, définit un condensateur. Il est noté **C.**



4.5.2 Caractéristiques d'un condensateur.

4.5.2.1 Champ à l'intérieur d'un condensateur.

Le champ électrique résultant à l'intérieur d'un condensateur est: $|\vec{E}|_{int} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$

- ✓ uniforme, c.-à-d. constant en tout points.
- ✓ de module égal.
- ✓ Toujours orienté vers la borne négative.

4.5.2.2 Champ à l'extérieur d'un condensateur.

Á l'extérieur d'un condensateur, le champ électrique est toujours nul.

4.5.2.3 Différence de potentiel entre les bornes d'un condensateur. Elle peut être calculée par:

$$(V_A - V_B) = V_C = \int_A^B |\vec{E}|_M \, dx \Rightarrow V_{AB} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\times(x_B - x_A) = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\times d .$$

4.5.2.4 Capacité propre d'un condensateur. Elle est reliée avec la différence de potentiel par:

$$Q = C \times V_C \Rightarrow C = \frac{Q}{V_C} = \frac{\sigma \times S}{\frac{\sigma \times d}{\varepsilon_0}} = \frac{\varepsilon_0 \times S}{d}$$

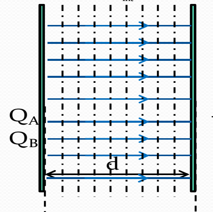
4.5.2.3 Énergie emmagasinée dans un condensateur. Elle peut être calculée par:

$$En = \frac{1}{2}\times C \times (V_C)^2 = \frac{1}{2}\times Q \times (V_C) = \frac{1}{2}\times \frac{Q^2}{C}$$

4.5.3 Lignes de champs et surfaces équipotentielles à l'intérieur d'un condensateur.

À l'intérieur d'un condensateur, les lignes de champ sont parallèles entres elles, perpendiculaires aux surfaces des plaques, orientées vers la plaque négative. Le champ à l'intérieur d'un condensateur est uniforme.

Les surfaces équipotentielles sont parallèles aux armatures du condensateur.



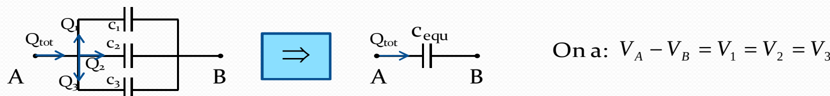
4.5.3 Exercice.

1. Déterminer la trajectoire d'un électron placé entre les armatures d'un condensateur.
2. Même question, si l'on place un proton ou un neutron.
3. Quelle est l'orientation d'un dipôle électrique s'il est dans une position d'équilibre instable.

4.6 Assemblage de Condensateurs.

L'assemblage des condensateur peut se faire de deux manières différentes.

4.6.1 Assemblage de condensateurs en parallèles.



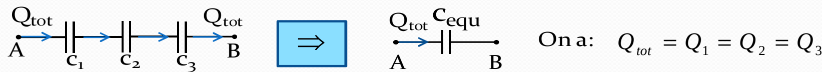
On a: $V_A - V_B = V_1 = V_2 = V_3$

Avec : $V_A - V_B = \frac{Q_{tot}}{C_{equ}}$ et : $V_1 = \frac{Q_1}{C_1}$, $V_2 = \frac{Q_2}{C_2}$, $V_3 = \frac{Q_3}{C_3}$.

Sachant que: $Q_{tot} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \Rightarrow (V_A - V_B)\times C_{equ} = V_1 \times C_1 + V_2 \times C_2 + V_3 \times C_3$

$\Rightarrow (V_A - V_B)\times C_{equ} = V_1 \times (C_1 + C_2 + C_3) \Rightarrow C_{equ} = C_1 + C_2 + C_3$

$$C_{equ} = \sum_{i=1}^{n} C_i$$



4.6.2 Assemblage de condensateurs en séries.

On a : $Q_{tot} = Q_1 = Q_2 = Q_3$

Avec : $V_A - V_B = V_1 + V_2 + V_3$ $\quad V_A - V_B = \frac{Q_{tot}}{C_{equ}}$

et : $V_1 = \frac{Q_1}{C_1}, \quad V_2 = \frac{Q_2}{C_2}, \quad V_3 = \frac{Q_3}{C_3}$

Sachant que : $V_A - V_B = V_1 + V_2 + V_3 \Rightarrow \frac{Q_{tot}}{C_{equ}} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3}$

$\Rightarrow \frac{Q_{tot}}{C_{equ}} = Q_{tot} \times \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}\right) \Rightarrow \frac{1}{C_{equ}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$

$$\frac{1}{C_{equ}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i}$$

بسم الله الرحمن الرحيم وبه نستعين

Chapitre 4: ELECTROCINETIQUE.

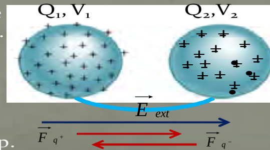
4.1 Généralités. Lorsque la différence de potentiel entre deux conducteurs n'est pas nulle, les charges électriques se déplacent.

4.2 Origine du mouvement des charges.

Á l'instant t=0, les charges des deux conducteurs sont Q_1, Q_2 et les potentiels électriques V_1, V_2.

La différence de potentiel ($V_1 \rangle V_2$), entre les deux conducteurs, génère un champ électrique externe orienté vers les potentiels décroissants.

Les charges électriques influencées par le champ externe seront soumises à l'influence d'une force électrique induite par ce champ.



$\vec{E}_{ext}$

$\vec{F}_{q^+}$ Sera orientée dans le sens du champ.

$\vec{F}_{q^-}$ Sera orientée dans le sens opposé du champ.

4.3 Définitions.

4.3.1 Courant électrique. Le mouvement des charges électriques dans le conducteur par unité de temps définit le courant électrique. Il est noté **i**, et définit par:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

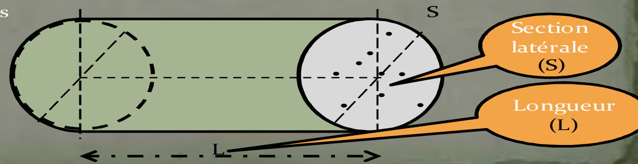
4.3.2 Régime permanent. Si la quantité de charge en déplacement est constante dans le temps, le régime est dit permanent. Dans ce cas on le noté **(I)** et il est définit par:

$$I = \frac{Q}{t}\left(\frac{Coulomb}{seconde} = Ampere\right)$$

4.4 Résistance électrique.

Le mouvement des charges électriques sur le support (conducteur) est ralenti par les noyaux et les électrons de la matière. La matière va résister au mouvement des charges, d'où la définition de la résistance électrique.

Le mouvement des charges n'est pas rectiligne.



4.4.1 Définition: La résistance électrique est schématisée par; notée **R**, elle dépend de la **longueur** de parcourt de la charge, de la **section** latérale ainsi que de la **nature de la matière.**

R: Resistance électrique.
ρ: résistivité de la matière.
L: Longueur et S la section.

R

$$R = \frac{\rho \times L}{S}$$

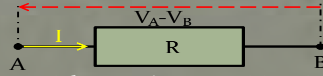
La résistivité (ρ) est reliée à la conductivité (γ) par:

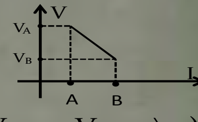
$$\rho = \frac{1}{\gamma}$$

4.4.2 Caractéristiques de la résistance.

4.4.2.1 différence de potentiel: la différence de potentiel au bornes d'une résistance **R**, traversée par un courant **I**, est donnée par la loi d'OHM

$$V_A - V_B = R \times I$$





Remarques: La différence de potentiel est toujours positive si : $(V_{entrée} - V_{sortie} > 0)$.
Elle est négative si : $(V_{sortie} - V_{entrée} < 0)$.

4.4.2.2 Énergie dégagée par effet joule: lors du mouvement de la charge, son énergie diminue, elle est dissipée sous forme de chaleur. Son expression est donnée par la loi de JOULE.

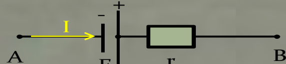
$$En_{dissipee} = R \times I^2 \times t = R \times I \times I \times t = (V_A - V_B) \times I \times t$$

4.4.2.3 Puissance dissipée par effet joule: La puissance dissipée par effet joule est définie par:

$$P_{dissipee} = \frac{En_{dissipee}}{t} = \frac{r \times i^2 \times t}{t} = R \times I^2 = R \times I \times I = (V_A - V_B) \times I$$

4.5 Générateur électrique. L'énergie électrique des charges diminue lors du déplacement de celles-ci, car la résistance électrique provoque la dissipation de leurs énergie.

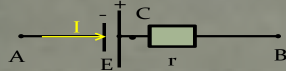
4.5.1 Définition: C'est un dispositif qui permet de renouveler l'énergie perdue de la charge lors de son déplacement. Il est noté **(E, r)**, Schématisé par:

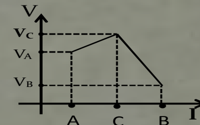


E: est la force électromotrice.
r: la résistance interne.

4.5.2 Caractéristiques du générateur.

4.5.2.1 différence de potentiel: la différence de potentiel aux bornes d'un générateur est donnée par:





$$(V_B - V_A) = (V_B - V_C) + (V_C - V_A)$$

On a: $(V_C - V_A) = +E$

et $(V_B - V_C) = -r \times I$ Donc: $(V_B - V_A) = (-r \times I) + (E)$

$$\Rightarrow (V_B - V_A) = E - r \times I$$

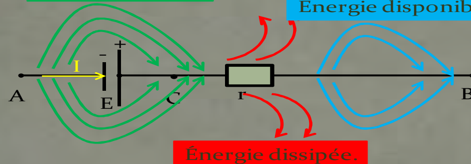
Elle représente la loi de POUILLET pour un générateur.

4.5.2.2 Énergie mise en évidence dans un générateur: On définit trois types d'énergie dans un générateur.

a) Énergie fournie. Elle représente l'énergie fournie par le générateur (f.é.m.) à la charge en déplacement. Elle est définie par: $En_{fournie} = E \times I \times t$

b) Énergie dissipée. Elle représente l'énergie dissipée dans la résistance interne du générateur. Elle est définie par: $En_{dissipee} = r \times I^2 \times t$

c) Énergie disponible: Elle représente l'énergie de la charge lorsque celle-ci sort du générateur. $En_{disponible} = En_{fournie} - En_{dissiper} = E \times I \times t - r \times I^2 \times t$



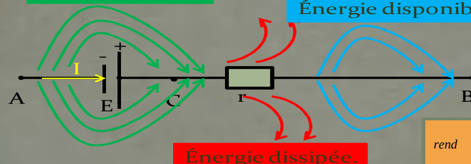
$$En_{disponible} = (E - r \times I) \times I \times t$$

$$En_{disponible} = (V_B - V_A) \times I \times t$$

Remarques: On peut déterminer les expressions des puissances en utilisant la relation: $En_{energie} = P_{Puissance} \times t_{temps}$

4.5.3 Rendement du générateur. Il est définit par le rapport de l'énergie disponible sur l'énergie fournie.

$$rend = \frac{En_{disponible}}{En_{Fournie}}$$



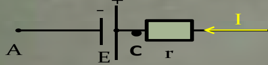
$$rend = \frac{E \times I \times t - r \times I^2 \times t}{E \times I \times t} = \frac{E - r \times I}{E} = \frac{V_A - V_B}{E}$$

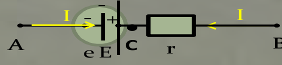
Remarque: si la résistance interne du générateur est nulle, le générateur est dit parfait ou idéal.

4.6 Récepteur électrique. L'énergie électrique des charges diminue lorsque celles-ci traversent un récepteur électrique

4.6.1 Définition: C'est un dispositif qui permet de transformer l'énergie électrique de la charge traversant le récepteur sous une autre forme.

Il est noté **(e, r)**, ou (E, r). **Le récepteur possède deux Schématisation:**



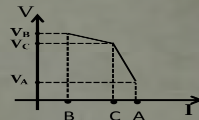


Récepteur réversible.
E: est la force contre électromotrice.
r: la résistance interne du récepteur.

Récepteur permanent
e: est la force contre électromotrice.
r: la résistance interne du récepteur.

4.6.2 Caractéristiques du récepteur.

4.6.2.1 différence de potentiel: la différence de potentiel au bornes d'un récepteur est donnée par:



$$(V_B - V_A) = (V_B - V_C) + (V_C - V_A)$$

On a: $(V_B - V_C) = +r \times I$

et $(V_C - V_A) = +e$

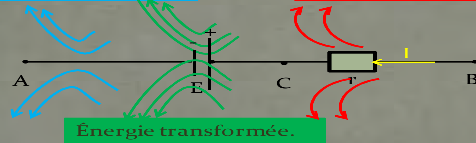
Donc: $(V_B - V_A) = (+r \times I) + (e)$

$$\Rightarrow (V_B - V_A) = e + r \times I$$

Elle représente la loi de POUILLET pour un récepteur.

4.6.2.2 Énergie mise en évidence dans un récepteur: On définit aussi trois types d'énergies dans un récepteur.

a) Énergie dissipée. Elle représente l'énergie dissipée dans la résistance interne du récepteur. Elle est définie par: $En_{disssipee} = r \times I^2 \times t$
b) Énergie transformée. Elle représente l'énergie de la charge transformée par le récepteur (f.c.é.m.) sous une autre forme. Elle est définie par: $En_{transfourmee} = E \times I \times t$
c) Énergie consommée: Elle représente l'énergie reçue par le récepteur et consommée par ce dernier. $En_{consommee} = En_{dissipee} + En_{transformee} = E \times I \times t + r \times I^2 \times t$

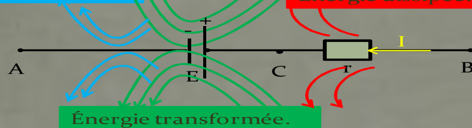


$$En_{consommee} = (E + r \times I) \times I \times t$$

$$En_{consommee} = (V_B - V_A) \times I \times t$$

Remarques: On peut déterminer les expressions des puissances en utilisant la relation: $En_{energie} = P_{Puissance} \times t_{temps}$

4.5.3 Rendement du récepteur. Il est définit par le rapport de l'énergie transformée sur l'énergie consommée.



$$rend = \frac{En_{transformee}}{En_{consommee}}$$

$$rend = \frac{E \times I \times t}{E \times I \times t + r \times I^2 \times t} = \frac{E}{E + r \times I} = \frac{E}{V_B - V_A}$$

Remarque:

- si la résistance interne du récepteur est nulle, le récepteur est dit parfait ou idéal.

4.7 Lois de KIRCHHOFF.

4.7.1 Nœuds.

4.7.1.1 Définitions: Dans un circuit électrique, le point d'intersection de plusieurs intensités de courant électrique est appelé un nœud.

4.7.1.2 Loi des nœuds. La somme de toutes les intensités de courants électriques arrivants au nœud est égale à la somme de toutes les intensités qui sortent du même nœud.

$$I_2 + I_4 = I_6 + I_5$$

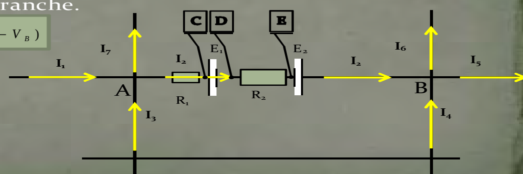
$$\sum I_{entrants} = \sum I_{sortants}$$

4.7.2 Branches.

4.7.2.1 Définitions: Dans un circuit électrique, l'ensemble de tout les éléments qui se trouve entre deux nœuds successif est appelée branche.

4.7.2.2 Loi des branches. La différence de potentiel aux bornes d'une branche, est la somme algébrique de toutes les différences de potentiels de tous les éléments qui se trouvent dans cette branche.

$$V_A - V_B = (V_A - V_C) + (V_C - V_D) + (V_D - V_E) + (V_E - V_B)$$



4.7.3 Mailles.

4.7.3.1 Définitions: Dans un circuit électrique, l'ensemble des branches qui forment un circuit fermé est appelés maille.

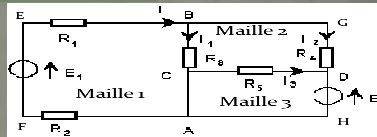
4.7.3.2 Loi des mailles. La somme algébrique de toutes les différences de potentiels dans un circuit fermé est nulle.

Maille 1: $(V_A - V_A) = (V_A - V_C) + (V_C - V_B) + (V_B - V_E) + (V_E - V_F) + (V_F - V_A) = 0$

Avec : $(V_A - V_C) = 0 ; (V_C - V_B) = -R_3 \times I_1$

$(V_B - V_E) = -R_1 I ; (V_E - V_F) = +E_1$

$(V_F - V_A) = -R_2 \times I$



L'équation de la maille 1 devient:

$$(V_A - V_A) = (0) + (-R_3 \times I_1) + (-R_1 \times I) + (+E_1) + (-R_2 \times I) = 0$$

4.7.4 Lois de KIRCHHOFF.

Pour déterminer les différentes intensités du courant dans toutes les branches on doit:

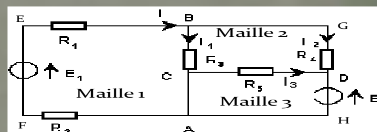
1. Écrire autant d'équations que d'inconnues.
2. Les équations doivent êtres linéairement indépendantes.

Remarques

2.1 Pour que les équations soient linéairement indépendantes il faut toujours commencer par les équations des nœuds.

2.2 Résoudre le système d'équations en utilisant la méthode de CRAMER.

Exemple: résoudre le système d'équation suivant en utilisant la méthode de CRAMER



$$\begin{cases} x + y = 18 \\ 2x + 4y = 50 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x + y = 18 \\ 2x + 4y = 50 \end{cases} \Rightarrow \left\{ x = \frac{\begin{vmatrix} 18 & 1 \\ 50 & 4 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 2 & 4 \end{vmatrix}} = \frac{(18) \times (4) - (1) \times (50)}{(1) \times (4) - (1) \times (4)} = \frac{22}{2} = 11 \right.$$

$$\left\{ y = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 18 \\ 2 & 50 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 2 & 4 \end{vmatrix}} = \frac{(1) \times (50) - (18) \times (2)}{(1) \times (4) - (1) \times (4)} = \frac{14}{2} = +7 \right.$$

بسم الله الرحمن الرحيم وبه نستعين

رب اشرح لي صدري ويسر لي أمري واحلل عقدة من لساني يفقهوا قولي

Chapitre 5: Électrophysiologie cellulaire

5.1: Introduction et généralités:

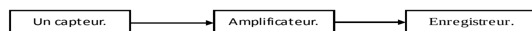
L'électrophysiologie est un domaine qui **étudie les activités électriques des cellules de** l'organisme. Cette étude concerne notamment les **cellules dites excitables** telles que les **cellules nerveuses** (neurones) et les **cellules musculaires** (le muscle cardiaque ou myocarde, les muscles striés). Son but est d'arriver à **décrire** et **comprendre** le fonctionnement des organes vivants, à partir de l'analyse de l'enregistrement de l'activité électrique de l'organe.

5.2: Constitution d'une chaine de mesure.

Les êtres vivants sont le siège de phénomènes électriques intimement liés aux activités vitales des organes. Le phénomène physiologique qui transmet un signal électrique, une intensité ou une tension électrique, est recueilli par un capteur adapté. Généralement le signal est faible et ne peut être analysé, un amplificateur est utilisé dans le but d'amplifier le signal pour que ce dernier puisse être interpréter.

Ces phénomènes électrophysiologique sont mis en évidence à l'aide de capteurs appliqués en surface ou introduit dans la profondeur des tissus.

La chaîne de mesure est généralement formée par :



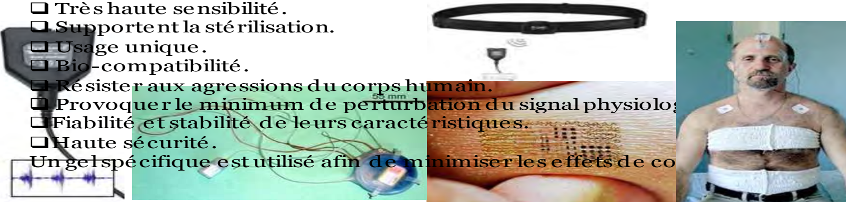
5.2.1. Capteurs et signaux électrophysiologique.

Un capteur électrophysiologique est un dispositif très sensible, qui permet de recueillir un signal (charge, tension, courant, son...). En Général le signal est faible et ne peut être analysé.

Puisque ces capteurs sont généralement appliqués au corps du patient, ils doivent donc obéir aux différentes contraintes suivantes :

- Très haute sensibilité.
- Supportent la stérilisation.
- Usage unique.
- Bio-compatibilité.
- Résister aux agressions du corps humain.
- Provoquer le minimum de perturbation du signal physiolo
- Fiabilité et stabilité de leurs caractéristiques.
- Haute sécurité.

Un gel spécifique est utilisé afin de minimiser les effets de co



L'information recueillie par le capteur **(X(t))**est composée d'information utile**(S(t))** et d'information inutiles **(B(t))**. C'est une fonction du temps composée par :

X(t) = S(t) + B(t).

Avec **X(t)** est l'information recueillie.

S(t) est le signal ou l'information utile.

B(t) est le bruit ou l'information inutile.

5.2.1.1. Informations utile. Cette information utile est émise par l'organe, elle est appelée signal, et nous permet d'étudier le phénomène désiré. Le signal est accompagné d'information inutile.

5.2.1.2. Informations inutile. Cette information est appeler le bruit, elle provient d'autres phénomènes physiologiques secondaires comme elle peut provenir aussi de parasites qui n'ont aucune relation avec le phénomène à étudier. Ce bruit est inévitable.

Il faut signaler qu'il existe deux natures de signaux recueillis.

- Les signaux résultants de l'activité électrique de la source, tel que les muscles, le cerveau ou le cœur.
- Les phénomènes biologiques qui doivent être traduits en phénomènes électriques.

5.2.2 Amplificateur. Il possède deux rôles principaux.

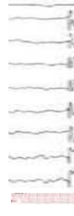
- Il permet d'amplifier l'information recueillie afin d'être analysé.
- De séparer entre l'information utile (signal) et l'information inutile recueillie par le capteur.

5.2.3. Enregistreurs : Il permettent d'enregistrer l'information amplifiée et traitée. Il existe deux types d'enregistrements :

5.2.3.1 Enregistreurs sur bande : L'information est enregistrée sur une feuille millimétrée simplifiant l'analyse de l'information, tel que ECG, EEG.

5.2.3.2 Enregistreurs vidéo : Ils permettent d'enregistrer des images telles qu'échographies.







tumeur du rein gauche

5.3. Électrophysiologie cellulaire.

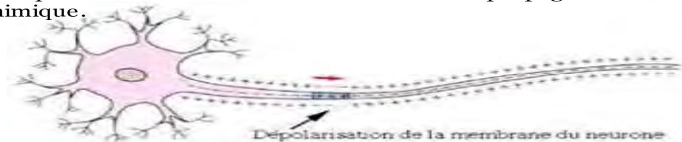
5.3.1. Généralités. Le rôle fondamental d'une cellule excitable (neurone) est de **recevoir propager** et **transmettre** l'information recueillie (signal nerveux).

Sa membrane plasmique possède des propriétés **électrochimiques** particulières. elle peut **réagir** à un stimulus et **propager** son action jusqu'à sa terminaison nerveuse.

La membrane plasmique des cellules excitables (neurones) comporte des **canaux et des pompes** capables de réguler la répartition des ions de part et d'autre de la membrane selon leurs charges électriques et leurs concentrations.

Cette régulation joue un rôle très important dans la transmission de l'information recueillie.

Remarque: La conduction du signal dans un fil électrique se fait par le biais du flux d'électrons, alors que dans le cas d'une membrane plasmique c'est une onde d'échange ionique qui s'effectue à travers la membrane. Cette propagation est de nature électrochimique.



5.3.2 Définition : L'électrophysiologie consiste a étudier les propriétés électriques des cellules. Ces propriétés dépendent des caractéristiques électrochimique de la membrane cellulaire.

Á l'état de base, toutes les cellules vivantes possèdent une répartition de charges différente entre l'intra et l'extra cellulaire. Ces charges électriques donnent à la cellule vivante des propriétés électriques.

La différence de potentiel est strictement localisée à la membrane. Et toute modification de cette différence de potentiel entraînera une réaction de la membrane cellulaire.

5.3.3 Potentiel de repos :

5.3.3.1 Répartition des charges : L'inégalité de la répartition des charges entre les deux faces de la membrane cellulaire entraîne une différence de potentiel localisée à la membrane.

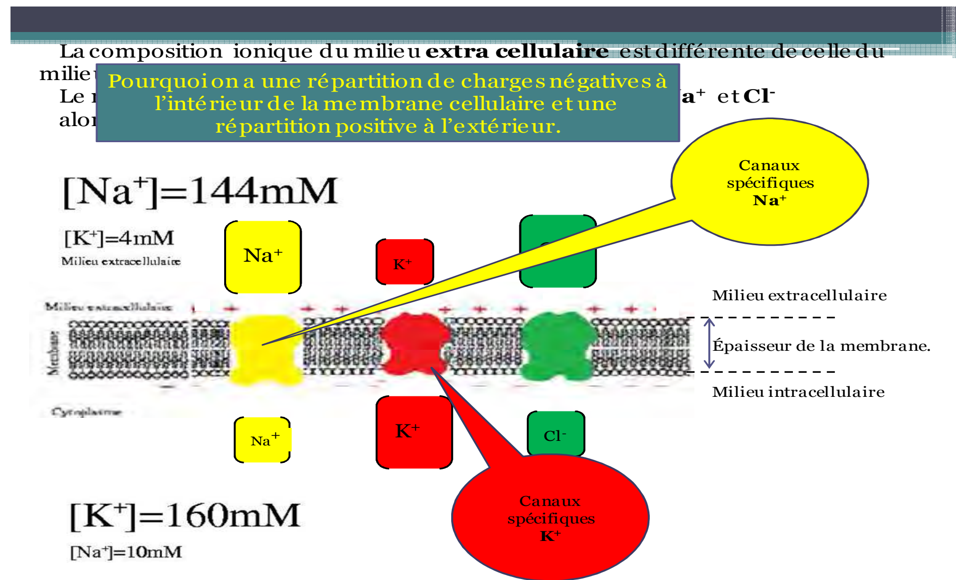
La face interne étant toujours chargée négativement alors que la face externe positivement.

La diffusion des ions à travers la membrane plasmique se fait au niveau de canaux spécifiques, les canaux de potassium sont très perméables alors que les canaux sodium sont peut perméables.

La composition ionique du milieu **extra cellulaire** est différente de celle du milieu **intra cellulaire**.

Le milieu **extra cellulaire** est surtout composée d'ions **Na^+** et **Cl^-**

alors que le **K^+** est surtout **intra cellulaire**.



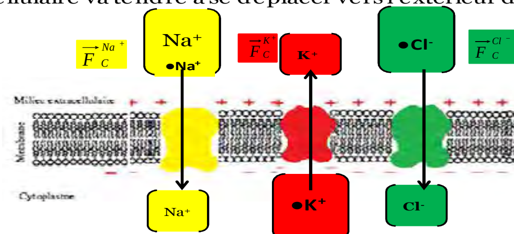
5.3.3.2. Forces mises en jeux : Il existe trois types de forces permettant le déplacement des ions à travers la membrane cellulaire.

5.3.3.2.1 Différence de concentration : ($\vec{F}_c$) Force de concentration, la charge électrique ou l'ion se déplace du milieu le **plus concentré** vers le milieu le **moins concentré**.

L'ion **Na^+** étant essentiellement extra cellulaire va tendre à se déplacer vers le milieu intra cellulaire.

L'ion **Cl^-** se trouvant plus concentré à l'extérieur de la membrane cellulaire va se déplacer vers l'intérieur de la membrane cellulaire.

L'ion **K^+** étant intra cellulaire va tendre à se déplacer vers l'extérieur de la membrane.

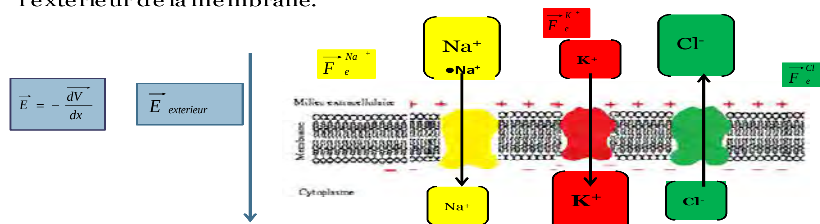


5.3.3.2.2 Différence de potentiel : ($\vec{F}_e$), Force électrique, la différence de charges entre les deux milieux produit une différence de potentiel, celle-ci génère un champ électrique. Ce champ externe induit des forces électriques qui tendent à déplacer les charges électriques dans le sens du champ si la charge est positive. Et dans le sens opposé si la charge est négative. Ce qui donne :

L'ion **Na^+** étant essentiellement extra cellulaire va tendre à se déplacer vers le milieu intra cellulaire.

L'ion **K^+** se trouvant à l'extérieur va tendre à se déplacer vers l'intérieur de la membrane.

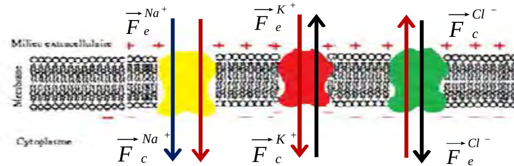
L'ion **Cl^-** se trouvant à l'intérieur de la membrane cellulaire va se déplacer vers l'extérieur de la membrane.



5.3.3.2.3. Différence de pression : Cette différence de pression est négligée dans les phénomènes d'électrophysiologie. Mais elle n'est pas négligeable au niveau **des alvéoles** ou se fait l'échange de gaz **(oxygène, gaz carbonique)**, et au niveau **des reins** ou se fait la **filtration des toxines** qui se trouve dans le sang.

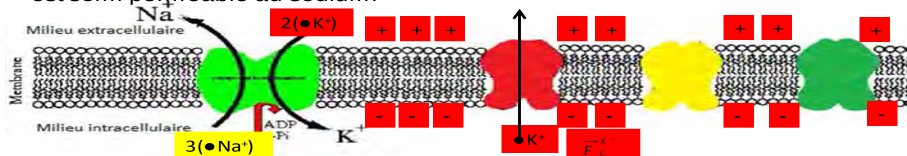
5.3.3.3. Conclusion. Le chlore et le potassium peuvent rentrer et sortir de la membrane cellulaire grâce aux deux forces citées précédemment, la force de **concentration** et la force **électrique**. L'une des forces déplace l'ion vers l'extérieur l'autre le ramène vers l'intérieur de la cellule. On déduit qu'un **équilibre** va s'établir pour ces deux ions entre l'extérieur et l'intérieur de la membrane cellulaire.

Pour l'ion du sodium les deux forces, sont orientées dans le même sens, elles tendent à le ramener vers l'intérieur de la membrane cellulaire.



Ce qui risque de déstabiliser la répartition de charge. **Boyle** et **CONWAY** stipule que la membrane cellulaire est imperméable au sodium.

D'autre études ont montrées, en utilisant le sodium radioactif, que la membrane est semi perméable au sodium.



Sur la membrane plasmique on retrouve une pompe (**Na^+,K^+ ATPase)**, qui mobilise activement, en utilisant de l'énergie métabolique (ATP), trois ions de sodium à l'extérieur contre deux ions de potassium à l'intérieur.

Donc la pompe (**Na^+,K^+ ATPase)** rempli la cellule de potassium et la vide de sodium, et à chaque fois elle mobilise un bilan d'une charge positive vers l'extérieur de cellule.

La force de concentration intervient et fait ressortir l'excès d'ion **K^+** vers le milieu externe en apportant de plus en plus de charges positives avec elle.

Le milieu intra cellulaire de la membrane se trouve donc chargé négativement ce qui limite la diffusion des molécules de potassium à l'extérieur.

En absence de stimulus externe, l'équilibre instauré engendre une différence de potentiel électrique entre les milieux extra cellulaire chargé positivement et le milieu intra cellulaire chargé négativement.

5.3.3.4 Mesure du potentiel de repos : Pour mesurer le potentiel de repos on utilise des microélectrodes, l'une placée à l'extérieur de la membrane cellulaire l'autre à l'intérieur. Ces deux microélectrodes sont reliées à un voltmètre permettent de mesurer le potentiel transmembranaire de la cellule.

Plus la **différence de potentiel** est grande plus la cellule est dite **excitable**.

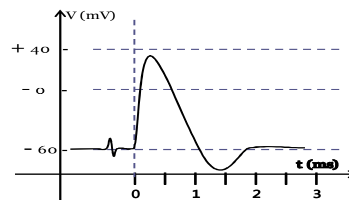
Ce potentiel transmembranaire est appelé **le potentiel de repos**, (-50 mV;-75 mV).

Il existe d'autres phénomènes plus complexe qui interviennent, vous allez les voir dans le cours de **CYTOLOGIE**.

5.3.4 Potentiel d'action:

5.3.4.1 Description : Si l'on stimule la membrane cellulaire avec une excitation externe mécanique ou électrique on aboutit à la courbe suivante.

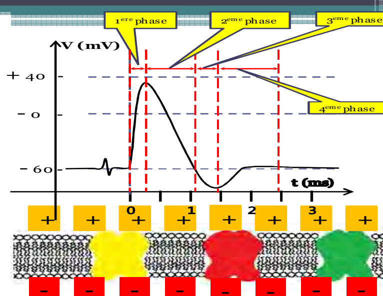




Le temps de la stimulation est toujours considéré comme étant négligeable en électrophysiologie.

Sur le graphe, l'axe des abscisses représente le temps **(ms)** et l'axe des ordonnées représente la différence de potentiel **V(mV)**. On distingue quatre phases distinctes.

1ère phase : Dans cette phase, l'excitation externe a provoqué une augmentation du potentiel, il s'annule puis se positive. Cette phase est dite la phase de **(dépolarisation)**. L'excitation a provoquée une inversion du potentiel électrique. L'intérieur de la cellule devient positif et l'extérieur devient négatif.



2 ème phase : Elle représente la phase de la **repolarisation** rapide une fois que l'excitation est terminée.

3ème phase : C'est une phase de **l'hyperpolarisation**. La courbe continue a descendre.

4ème phase : C'est une phase de **repolarisation lente** qui permet à la cellule de revenir à la normale si l'excitation n'est pas poursuivie. C'est à dire une polarité positive à l'extérieure et négative à l'intérieur de la membrane cellulaire.

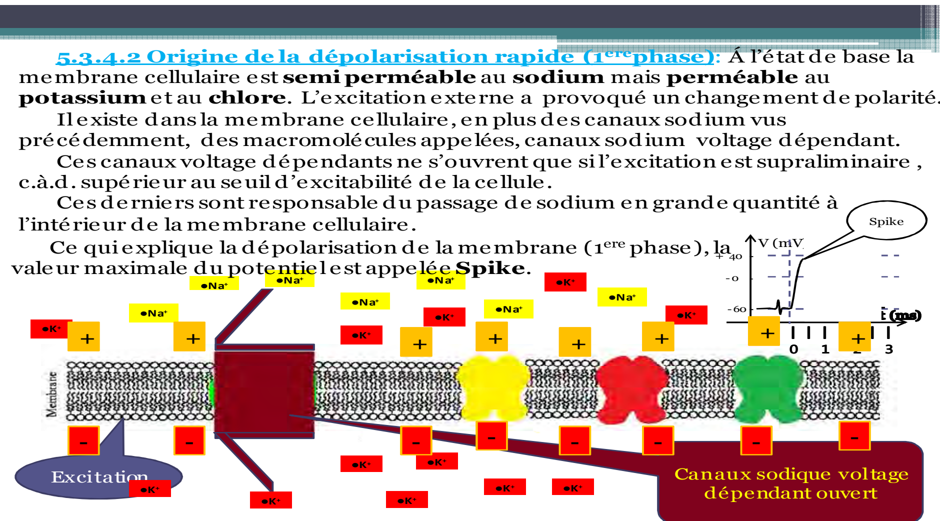
5.3.4.2 Origine de la dépolarisation rapide (1ere phase): Á l'état de base la membrane cellulaire est **semi perméable** au **sodium** mais **perméable** au **potassium** et au **chlore**. L'excitation externe a provoqué un changement de polarité.

Il existe dans la membrane cellulaire, en plus des canaux sodium vus précédemment, des macromolécules appelées, canaux sodium voltage dépendant.

Ces canaux voltage dépendants ne s'ouvrent que si l'excitation est supraliminaire, c.à.d. supérieur au seuil d'excitabilité de la cellule.

Ces derniers sont responsable du passage de sodium en grande quantité à l'intérieur de la membrane cellulaire.

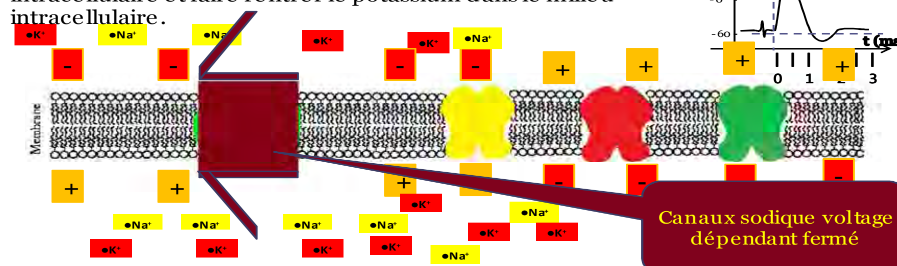
Ce qui explique la dépolarisation de la membrane (1ere phase), la valeur maximale du potentiel est appelée **Spike**.



5.3.4.3 Origine de la repolarisation rapide (2eme phase): Lorsque la pointe est atteinte, les canaux sodium voltage dépendant se ferment. Et la force de concentration s'active pour faire sortir le potassium de l'intérieur de la membrane cellulaire. Ce qui explique la phase de repolarisation rapide (2eme phase).

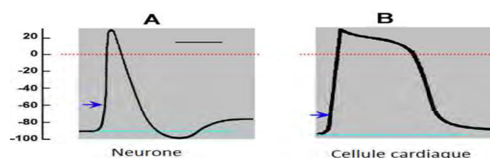
5.3.4.4 Origine de l'hyperpolarisation (3eme phase): Dans cette phase le potassium continue a sortir du milieu intra cellulaire (3eme phase). Ce qui fait que le potentiel devient inferieur au potentiel initial de repos.

5.3.4.5 Origine du retour à la normale (4eme phase): Dans cette phase la pompe (**Na^+,K^+ ATPase**), s'active en utilisant de l'énergie métabolique pour faire sortir l'excès de sodium du milieu intracellulaire et faire rentrer le potassium dans le milieu intracellulaire.



5.3.4.6 Remarques:

- Dans le cas du neurone la phase de repolarisation **débute** immédiatement après la phase de dépolarisation, alors que dans la cellule cardiaque on retrouve **un palier** avant le début de la repolarisation.
- Pendant les deux premières phases la cellule **ne répond pas** aux autres excitations externes, cette période est dite **réfractaire.**
- Pendant la quatrième phase la cellule est **super normale**, elle est **hyperexcitable**, elle répond immédiatement à toute autre stimulation.
- Si l'excitation est **infraliminaire la cellule ne réagit**.
- Alors que si l'intensité de l'excitation est **double de l'intensité seuil**, la cellule répond exactement comme **si l'excitation était égale au seuil d'excitabilité**. C'est la **loi du tout ou rien**.
- Dans la dernière phase la cellule devient **normale**.
- La **durée** d'un cycle d'activation est de l'ordre de **58 millisecondes**.



5.3.5 Propagation du potentiel d'action: Lors d'une excitation externe **supraliminaire**, un potentiel d'action se forme, les canaux **sodique voltage dépendant s'activent**, d'autres canaux qui se trouve à proximité de l'excitation s'activent aussi pour faire **propager** l'excitation.

Ce phénomène de **vague** de dépolarisation continu jusqu'à ce que le signal de dépolarisation membranaire **traverse** tout l'axone.

La **période réfractaire** des canaux sodique à voltage dépendant ne **permet pas au signal de faire marche arrière.** Le signal se propage toujours dans un **seul sens**.

On appel cette vague de potentiel d'action **l'influx nerveux**. Sur une seule fibre nerveuse, **l'amplitude** du potentiel d'action **ne varie pas.**

La **vitesse** de transmission de l'influx nerveux **varie** d'un neurone à un autre. Si le neurone est **myélinisé** le signal se propage plus vite, il se fait de manière **saltatoire,** entre deux nœuds de **Ranvier.**

5.4 Signaux électriques et débit sanguin :

5.4.1 Anatomie et fonctionnement du cœur. Comme chacun sait, **le cœur fonctionne comme une pompe.** On distingue la grande circulation et la petite circulation :

La grande circulation comprend la partie gauche du cœur (dite le cœur gauche) avec l'oreillette et le ventricule gauche, et l'aorte (la grosse artère qui sort du ventricule gauche) qui va distribuer l'oxygène à tout l'organisme en particulier les organes vitaux : cerveau, reins, foie etc...

La petite circulation : c'est la circulation pulmonaire. Elle comprend l'oreillette et le ventricule droit (dit le cœur droit), l'artère pulmonaire, les poumons, et les veines pulmonaires. Elle permet au sang de se recharger en oxygène.

Lorsque le cœur est relâché (diastole), les oreillettes aspirent le sang des veines pulmonaires pour l'oreillette gauche et des veines caves supérieures et inférieures pour l'oreillette droite. Elles se remplissent de sang, oxygéné pour la gauche, riche en CO_2 pour la droite.

La contraction du cœur (systole) commence par celles des oreillettes, le sang est chassé dans les ventricules. La contraction atteint les ventricules qui éjectent alors le sang dans l'aorte (à gauche) et le tronc pulmonaire (à droite). Ensuite relâchement du cœur avec fermeture des valves aortique et pulmonaire (pour empêcher le sang de refouler dans les ventricules et maintenir une certaine pression artérielle).

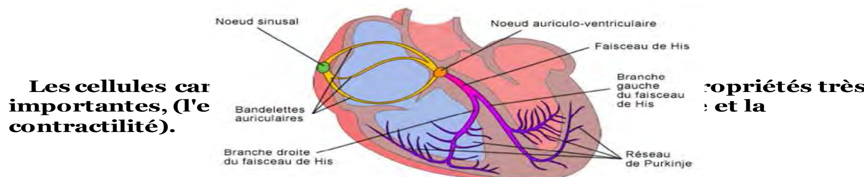
On comprend ainsi que toute atteinte d'un de ces éléments va gravement perturber la circulation normale.

5.4.2 Tissus cardiaque. :On retrouve deux types de tissus cardiaques.

5.4.2.1 Le tissu nodal Il est composé du **nœud sinusal**, **nœud auriculo-ventriculaire**, **le faisceau de HIS** et le réseau de (**PURKINJE**). Le rôle principal du tissu nodal est **l'élaboration et la conduction de l'influx nerveux.**

5.4.2.2 Le tissu myocardique: dont la fonction principale est la contraction.

Les cellules car ... ropriétés très importantes, (l'e ... et la contractilité).



Les cellules cardiaques sont caractérisées par quatre propriétés très importantes, (l'excitabilité, la conduction, l'automatisme et la contractilité).

5.4.3 Rôle et fonction L'influx nerveux ne peut passer des oreillettes aux ventricules que par le nœud auriculo-ventriculaire. Il existe un anneau fibreux qui réalise l'isolation électrique entre les oreillettes et les ventricules, pour éviter la contraction respective des oreillettes et des ventricules.

5.4.4 Chemin suivi par le signal.

- Le signal électrique **nait** au niveau du **nœud sinusal**.
- Il est conduit à travers les oreillettes, par les bandelettes auriculaire, (contraction des oreillettes).
- Il passe au niveau du nœud auriculo-ventriculaire situé à la base des oreillettes ou il subit un retard de 0,15 secondes pour séparer entre les contractions des oreillettes et des ventricules.
- Il passe à travers le faisceau de HIS pour se propager dans les parois des ventricules.
- Il est rapidement conduit dans les cellules myocardiques ventriculaires par le réseau de PURKINJE (contraction des ventricules).

5.4.5 L'électrocardiographe (ECG).

5.4.5.1 Généralités. Le cœur est le siège de phénomènes électriques lors de son activation. Il peut être considéré comme une source électrique dont on peut mesurer les effets sous forme de signal électrique.

5.4.5.2 Différence entre une cellule cardiaque et une cellule nerveuse. Le potentiel de repos d'une cellule cardiaque est du même ordre de grandeur que celui des cellules nerveuses, sauf que l'on retrouve du calcium qui joue un rôle très important dans la cellule cardiaque.

Pour le potentiel d'action, on retrouve **deux différences principales** entre les cellules nerveuses et les cellules cardiaques.

➢ la première réside au niveau **du palier** que l'on retrouve au niveau de la cellule cardiaque.

➢ La seconde est que le phénomène de **dépolarisation/repolarisation** débute à une extrémité de la fibre et se propage vers l'autre extrémité dans les cellules nerveuses, alors que dans les cellules cardiaques les phases de dépolarisation/repolarisation sont **totalement séparées**. Toutes les cellules cardiaques doivent se dépolarisées repolarisées en même temps.

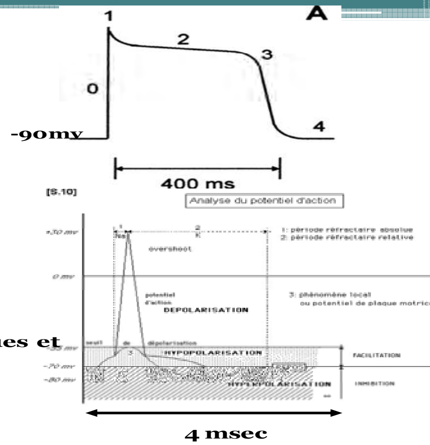
L'activité électrique des cellules

Les cellules myocardiques

Ce sont des éléments excitables
- Potentiel de repos : -90 mV
- Potentiel d'action : Plateau

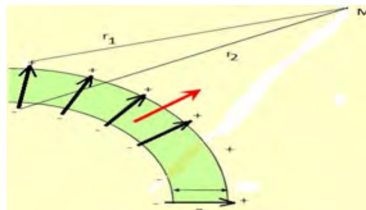
Liées entre elles par des gaps jonctions

0 : Ouverture des canaux Na rapide
1 : fermeture des canaux Na rapide
2 : Entrée de Ca et de Na par des canaux lents
3 : Sortie de K+
4 : Pompe Na/K



Comparaison PA fibres myocardiques et PA neurones

5.4.5.3 Dipôle électrique. Le feuillet électrique est constitué de deux milieux conducteurs séparés par un isolant d'épaisseur mince. Des charges électriques positives et négatives se trouvent de part et d'autre du feuillet avec une densité de charge identique. Le feuillet peut être assimilé à un dipôle électrique.



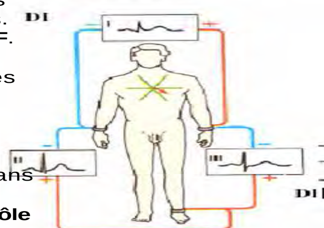
5.4.5.4. Dérivations: Deux types de dérivations sont utilisées pour recueillir le signal émis par le cœur.

5.4.5.4.1 Dérivation des membres : trois électrodes sont placées sur la main gauche, droite et un des pieds. Elles permettent de mesurer les potentiels **VR**, **VL** et **VF**. Ces dérivations sont dites unipolaires.

Trois autres dérivations, dites bipolaires sont déduites des précédentes, **D1**, **D2** et **D3**.

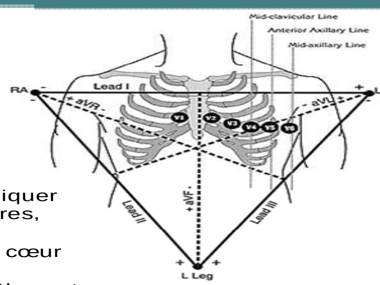
D1 = VL – VR,
D2 = VF – VR,
D3 = VF – VL.

Ces six dérivations permettent d'explorer le cœur dans un plan **frontal**. Elles permettent un enregistrement à grande distance du cœur, le cœur est assimilé à un **dipôle électrique**.



5.4.5.4.2 Dérivation précordiales : Six autres dérivations unipolaires (**V1, V2, V3, V4, V5 et V6**) sont placées en des endroits très précis sur le thorax.

Ces dérivations permettent d'explorer le cœur dans un front **horizontal**, le cœur est considéré comme un **feuillet électrique**. Les distances qui séparent ces mesures du cœur sont très faible.



5.4.5.4.3Théorie d'EINTHOVEN : Pour expliquer facilement les tracés observés dans les membres, EINTHOVEN fait trois suppositions.

- En voie d'activation ou de restauration, le cœur peut être assimilé à un **dipôle électrique**.
- Le centre du **vecteur moment** de ce dipôle peut être considéré fixe (cœur), centre du triangle.
- Les dérivations **R, L** et **F** sont supposées être sur les **sommets** d'un **triangle équilatéral**.

5.4.5.5 Lecture d'un ECG.

5.4.5.5.1 Terminologie et normes. Sur un tracé d'électrocardiographie, le premier repère est la ligne isoélectrique. Elle est la ligne de base correspondant à l'absence de phénomène électrique. Au dessus de celle-ci l'onde est positive et au dessus l'onde est négative. Une onde peut être diphasique si une partie est positive l'autre est négative.

5.4.5.5.2 L'onde P : c'est une petite qui représente la dépolarisation des oreillettes qui se propage du nœud sinusal a l'ensemble des cellules des oreillettes. Une fraction de seconde après le début de l'onde P, les oreillettes se contractent, on parle alors de systole auriculaire.

5.4.5.5.3 Le complexe QRS : Il commence par une déflexion vers le bas, se poursuit sous forme d'une grande onde triangulaire vers le haut et se termine par une onde descendante. Ce complexe représente dépolarisation des ventricules en même temps que la repolarisation des oreillettes. Peu après le début du complexe QRS, les ventricules commencent à se contracter et les oreillettes a ce relâcher. On parle de systole ventriculaire et de diastole auriculaire.

5.4.5.5.4 L'onde T : c'est la troisième onde, elle forme une déflexion vers le haut. Elle représente la repolarisation des ventricules. Peu après le début de cette onde les ventricules se relâchent. On parle alors de la diastole ventriculaire.

